



Transflujos entre el estuario del Plata y el sistema acuífero en su ocurrencia litoral (Argentina - República Oriental del Uruguay)

Lisandro Hernández^{(1)/(2)}

⁽¹⁾ Cátedra de Fundamentos de Geología. Facultad de Cs. Naturales y Museo UNLP. Calle 60 y 122 (1900) La Plata. Argentina. ⁽²⁾ Hidroar SA. Calle 67 No 1474 (1900) La Plata. Argentina.

Mail de contacto: lisandro_h@sinectis.com.ar

RESUMEN

Se analizan interrelaciones del estuario con los acuíferos influentes, especialmente por margen derecha. La caracterización físico-hidrológica del sistema estuarial se basa en sólida información antecedente y la geohidrológica incluye la componente dinámica (hidrometeorología, hidrología subterránea, hidroquímica) y del medio físico (geomorfología, geología, hidrolitología). Los impactos antropogénicos sobre el estuario se calificaron en base a registros oficiales y contribuciones de investigadores argentinos y uruguayos. La labor esencial consistió en analizar cualitativamente las relaciones intersistémicas, para reconocer la afectación ecohidrológica. La mayor magnitud radica en impactos desde el estuario sobre el continente, focalizados en su régimen y consecuencias ambientales sobre aguas subterráneas ribereñas, respecto a los inversos (descarga de aguas subterráneas contaminadas). La afluencia de agua salobre-salina desde margen derecha y dulce desde la izquierda es poco relevante. Dos impactos mayores ocurren desde el estuario, uno indirecto como intrusión salina afectando sectores de margen argentina, y el otro las sudestadas que la afectan, fundamentalmente por razones geomorfológicas e hidrológicas.

Palabras clave: estuario del Plata, aguas subterráneas, transflujos

ABSTRACT

Interrelationships between the estuary and influent aquifers, mainly on the right bank, are analysed. The physical-hydrological description of the estuary system is based on reliable previous data and the geohydrologic one includes the dynamic component (hydrometeorology, groundwater hydrology, hydrochemistry) and physical medium (geomorphology, geology, hydrogeology). Anthropogenic impacts on the estuary were described, based on official records and contributions of Argentinian and Uruguayan researchers. The main task consisted in analysing qualitatively and quantitatively the intersystem relations to assess the ecohydrological impacts-which largely occur from the estuary to the continent-concentrated on its regime and the environmental consequences on riparian groundwater, with respect to the inverse process-discharge of contaminated groundwater. The flow of brackish/saltwater from the right bank and freshwater from the left one is barely relevant. Two major impacts occur from the estuary: an indirect one as saltwater intrusion affecting Argentinian coastal areas, the other being the strong SE winds affecting them, mainly for geomorphological and hydrological reasons.

Keywords: del Plata estuary, groundwater, transflow

Introducción

El estuario del Río de la Plata, es morfogenéticamente primario, de influencia fluvial y afectado por mareas (Perillo, 1995). Contiene el límite internacional entre Argentina y Uruguay. A través de él, la cuenca del Plata (3200000 km²) drena un módulo de 23000 m³/s (Menéndez y Ré, 2005) aportados por los ríos Paraná y Uruguay, a lo largo de 300 km de desarrollo. Su geometría involucra cuestiones geopolíticas y jurídicas, acotada en el límite

externo por el Tratado del Río de la Plata suscrito por los países en 1973, luego de un principio de acuerdo en 1961 para limitar la incursión de navíos de bandera brasilera.

Por dicho acuerdo, el límite exterior se fija entre Punta del Este y la Punta Rasa del Co. San Antonio, distinguiendo un límite de fondo y dos de superficie correspondientes al semestre frío (otoño-invierno) y al cálido (primavera-verano), según se muestra en la Fig. 1.

El estar relacionadas las capitales de ambos países con el régimen estuarial, implica un

especial interés en las relaciones intersistémicas estuario-aguas subterráneas, al afectar a una población ribereña del orden de 13 millones, provista por aguas subterráneas cerca del 50% (González et al., 2008). En este trabajo se intentó abordar los transflujos positivos o negativos entre el estuario y el sistema acuífero en su ocurrencia litoral, con atención a los aspectos ambientales.

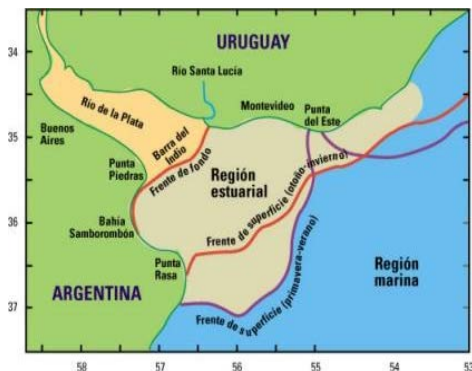


Fig. 1: Límites geográficos del río de la Plata y el estuario (de Acha y Mianzan, 2003)

Metodología

Sobre la base de los objetivos expuestos, se separaron como sistemas a caracterizar, el estuario por una parte y el geohidrológico litoral por otro. Respecto al primero, hay información suficiente para los propósitos del trabajo. De tal forma la labor principal se orientó a reconocer y rescatar para la caracterización los aspectos físico-hidrológicos más importantes, haciendo abstracción de los netamente bióticos.

Para el sistema geohidrológico en cambio, existe marcada asimetría entre márgenes respecto a la información. Se ordenó el tratamiento diferenciando las componentes dinámica (hidrometeorología, hidrología subterránea) e hidroquímica, de las que corresponden al medio físico (geomorfología, suelos, geología, hidrolitología), corroborándose la citada asimetría en esta última, soporte del sistema y sobre la cual se dispone de más información sobre el territorio de margen derecha.

Dado que el comportamiento de las estaciones pluviométricas del área es a escala regional muy similar, se tomó a SMN La Plata (Observatorio) en mérito a su garantía, extensión (98 años) y representatividad. Para la caracterización como función de entrada del sistema geohidrológico, estos datos al igual que los termométricos se procesaron por el método

de Thornthwaite-Mather con el objeto de obtener la evapotranspiración y el balance hídrico local.

La componente hidrológica subterránea fue definida por medio de antecedentes en ambos países, igual que los aspectos del medio físico con los cuales se reconoce la configuración hidrolitológica del sistema. Por último, la calificación de los impactos antropogénicos sobre el estuario a través de la descarga subterránea se basó en registros oficiales y contribuciones de investigadores argentinos y uruguayos. La labor metodológica final consistió, una vez caracterizadas las componentes, en el análisis cuali-cuantitativo de las relaciones intersistémicas desde el punto de vista de los impactos que cada uno ocasiona sobre el otro, para poder calificar su incidencia ambiental.

Caracterización general del estuario

Además del fundamental aporte de los ríos Paraná y Uruguay (mayor a 97 %) existen otros minoritarios: Matanza, Conchitas, Jiménez, San Francisco-Las Piedras, Pereyra, del Gato, El Pescado, San Felipe, Samborombón y Salado por margen derecha y San Juan-Miguelete, Rosario, San José-Santa Lucía, Sarandí, Solís, Pan de Azúcar por margen izquierda.

La descarga tributaria, más la onda de marea que ingresa desde el océano y los vientos en superficie son los principales condicionantes de la dinámica, constituyendo el régimen micromareal una singularidad destacable (Menéndez y Ré, 2005). La altura máxima para el siglo XX (Puerto Bs. Aires) fue de 3,88 msnm y la mínima -4,22 msnm. En general, niveles máximos de registros de mareas superan los 2,30 msnm, con máxima media de 1,95 msnm (Cavallotto y Violante, 2005), mientras que la tendencia secular marca un aumento de 0,17 m (Menéndez y Ré, 2005).

Los vientos, responsables de variaciones de nivel, velocidad de propagación de la onda de marea y mezcla en la vertical, tienen intensidad media de 5 m/seg, prevaleciendo los de N y NE durante todo el año, los del cuadrante W con mayor frecuencia en Invierno y del E y SE en Verano. La altura media de olas llega a 0,31 m, y los valores mayores asociados a vientos del E y ESE, coincidentes con el máximo fetch.

La amplitud media de las mareas ordinarias es pequeña (0,46-0,52 m), típica de regímenes micromareales, disminuyendo hacia el interior del estuario y la costa uruguaya (Cavallotto y Violante, 2005).

En lo que se refiere a la salinidad, hay una lógica diferencia entre cabecera y boca del estuario. Los valores en superficie son del orden de 200 mg/l en el sector interno aguas arriba de

la línea hipotética Buenos Aires-Colonia, pasando a 400 mg/l hacia el NW de Punta Indio-Punta Tigre (ROU), marcando la isolínea de 500 mg/l el comienzo de las aguas oligohalinas extendidas hasta la línea Punta Piedras-Punta Brava (ROU) donde alcanzan a 5000 mg/l para

llegar a 25000 mg/l en la interfase oceánica media (Bazán y Arraga, 1993). En la Figura 2 se muestran las líneas isoconas para el estuario con valores superficiales medios (en gr ‰) para 1981-1987 según Bazán y Janiot (1991).

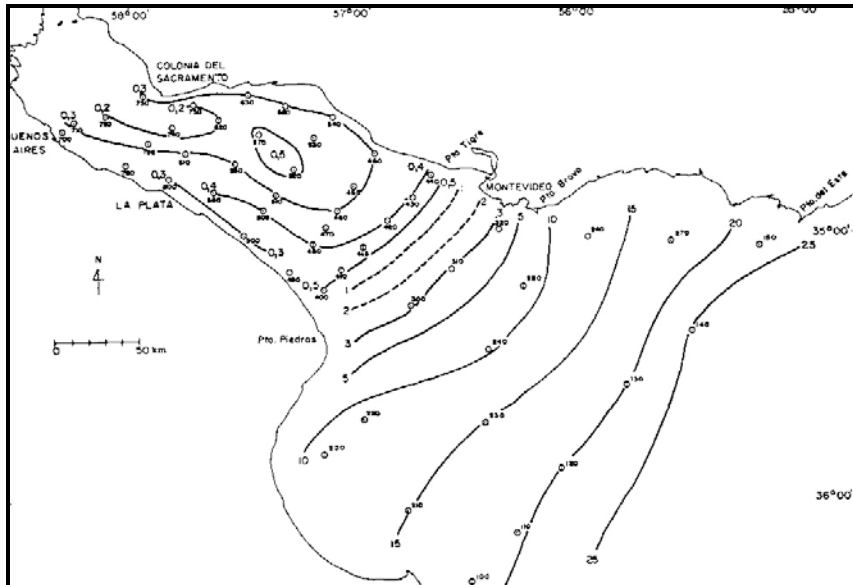


Fig. 2. Isoconas del Río de la Plata (de Bazán y Janiot, 1991)

Otro elemento a tener en cuenta es el transporte sólido (limos y arcillas entre 15 a 250 mg/l en Punta de Indio). Refleja la entrada de aguas pobres en sedimentos en suspensión desde el río Uruguay e influencia del mar en zona de mezcla temprana (Barra del Indio, Fig. 1) donde la floculación por mayor fuerza iónica y reducción de velocidad de caída por turbulencia, produce resuspensión del material particulado, con aumento de concentración en superficie (Bazán y Arraga, 1993). Se pasa de 70 mg/l-80 mg/l en la línea Buenos Aires-Colonia hasta 200 mg/l-250 mg/l en P. Piedras-Montevideo, descendiendo hasta 15 mg/l en la boca. Puede correlacionarse la salinidad con la concentración del material en suspensión: el sector de máxima turbiedad coincide con isoconas de 500 mg/l a 5000 mg/l (0,5 ‰ a 5 ‰, Fig.2) con climax en la línea de 3000 mg/l, decreciendo luego y volviendo a incrementarse a partir de 5000 mg/l, para disminuir bruscamente (Bazán y Juniot, 1991). En la Fig. 3 se puede percibir la localización del frente de turbidez.

La morfología del río reconoce a la *llanura costera* como geoforma emergida, y otras como

el *delta subaéreo*, terminal del sistema fluvial del Paraná, y el *delta subacuático*.



Fig. 3. Vista satelital del frente de turbidez

Este último incluye importantes bancos (Playa Honda, Banco Grande de Ortiz y Barra del Indio), canales como el Sistema Fluvial Norte (prolongación del río Uruguay) y la Gran Hoya del Canal Intermedio (Cavallotto, 1988). La *plataforma interior* se desarrolla hacia el Este del Banco del Indio, incluyendo los canales Oriental

The map displays the geological structure of the Buenos Aires region. Key features include:

- Geological Features:** Substrato prehelénico (dotted pattern), Plataforma interior (horizontal lines), Llanuras costeras y cantones de playa (wavy lines), Ubanes de inundación (cross-hatched pattern), Cella subaluvial (stippled pattern), and Delta subaluvial (diagonal lines).
- Profiles:** Five profiles are marked with letters A through E, indicating the locations of geological cross-sections.
- Geographic Labels:** Includes 'PROVINCIA DE ENTRE RÍOS', 'BUENOS AIRES', 'LA PLATA', 'Rosario', 'Montevideo', 'Uruguay', and 'Argentina'.
- Scale and Coordinates:** A scale bar at the bottom right indicates 0, 50, and 100 km. Coordinates for 34°S, 54°W, 56°W, and 58°W are marked.

Fig. 4 Geomorfología (Cavallotto y Violante 2005)

Marco hidrometeorológico

Utilizando como referencia a La Plata Observatorio (Lat 34° 55' S, Long. 57° 58' W) con observaciones desde 1885, la lluvia media anual para el record 1909-2007 es de 1042mm con máximos de Octubre a Abril y pico en Marzo (113mm) seguido de Enero (101mm). El mínimo ocurre en Junio (63mm). La evapotranspiración real es de 799mm/año, con excesos hídricos del orden de 243 mm/año, entre Abril y Noviembre. Un porcentaje importante pasa a formar parte del régimen subterráneo, mayor al del superficie

Marco geomorfológico y geológico

Existe una diferencia entre ambas márgenes del estuario tanto desde su morfogénesis como de la expresión fisiográfica actual. La margen argentina está condicionada por evolución de la cuenca del Salado mientras que la oriental lo es por la de Punta del Este, contigua al macizo de Uruguay. Ambas son alaucoígenos formados por un basamento pre-mesozoico, sobre el cual se depositaron hasta 6000 m de sedimentos

cretácicos, plio-pleistocenos y holocenos (Violante y Parker, 1999). Las diferentes ingresiones dejaron depósitos que fueron sucesivamente erosionados para reemplazarse por los siguientes no existiendo verdaderas secuencias, sino relictos de sus facies marginales y un mayor control con diferencias altimétricas sobre margen derecha.

La fisiografía marca también disparidades. Sobre la ribera argentina se desarrolla una llanura costera hasta cota 5 m snm bordeada por cordones conciles de la última ingresión, conteniendo a su vez llanuras de marea, canales de marea, lagunas costeras y llanura de fango, separada por un escalón de la llanura alta que le sirve de marco continental. En la costa uruguaya en cambio, se observa mayor pendiente, con depósitos arenosos en vez de fango y playas pelíticas, islas costeras rocosas, afloramientos del mismo carácter en el estuario o netamente costeros (Punta del Este, Punta Ballena).

La *geología aflorante* de la margen derecha presenta una secuencia cuya expresión superficial son los depósitos *Pospampeanos* (Holoceno a Reciente) mayormente pelíticos, con arenas muy finas y conchillas, yacentes en la llanura costera y las planicies aluviales terminales de los tributarios del Plata. También aflora la *Fm. Pampeano*, limos loessoides con gran contenido calcáreo y restringidamente la *Fm. Pascua*, conglomerado organógeno (Schnack et al., 2005). Continúa una secuencia clástica integrada por arenas de la *Fm. Puelches* (Pleistoceno inf.), arenas y arcillas de la *la Fm. Paraná* (marina, Mio-Plioceno) y de la *Fm. Olivos* (continental, Mioceno), apoyada sobre el *Complejo Martín García*, rocas plutónicas y metamórficas precámbricas.

Sobre el sector uruguayo, los depósitos más modernos son de dunas, cubriendo a las formaciones *Villa Soriano* (Holoceno, arcillas asociadas en posición a las dunas) y *Dolores*, fangolitas del Holoceno o Pleistoceno tardío. Aparecen exposiciones de la *Fm. Libertad*, pelitas pleistocenas similares a la *Fm. Pampeano*, con intercalaciones arenosas. Más representada en la costa oriental está la *Fm. Barra del Chuy* (Pleistoceno medio y sup.), arcillas basales con arena, gravilla y areniscas medianas a gruesas (Bossi y Navarro, 1991). La *Formación Raigón* (Goso, 1965), se integra con pelitas, arenas y areniscas del Plioceno-Pleistoceno inferior en posición estratigráfica homóloga a la *Fm. Puelches* de Argentina. En las barrancas y a la cota del nivel del mar aflora de Montevideo al Oeste la *Fm. Martín Chico*, areniscas y diamictitas de matriz pelítica y por debajo, con exposiciones de poco espesor en la

costa de Colonia y San José, aparece la *Fm. Camacho*, ingresiva y correspondiente con la *Fm. Paraná* de Argentina. También en subsuelo se halla la *Fm. Fray Bentos* (diamictitas, areniscas, loess y pelitas del Oligoceno-Mioceno). Cabe citar finalmente a las litologías granítico-metamórficas del denominado *Terreno Piedra Alta* a cuyos afloramientos se refiriera el tratamiento geomorfológico previo.

Hidrogeología

Coherentemente con las diferencias geológicas entre ambas orillas, el continente físico de los sistemas geohidrológicos presenta también disparidad. En territorio argentino y luego de una Zona No-Saturada de pocos centímetros a metros, el sistema incluye un subsistema activo y otro pasivo. El primero compuesto por un *acuífero freático* y un *semilibre* (Pampeano) conformando una única unidad hidráulica, alojados en depósitos Pospampeanos y en la *Fm. Pampeano*. En la base de ésta se localizan arcillas limosas (4-8 m) que obran a modo de acuitado, techo del *acuífero semiconfinado* Puelche, el más explotado para diferentes usos en todo el país. Este conjunto posee una potencia de hasta 70 m en la zona costera. Por debajo continúa el subsistema pasivo con dos *acuíferos confinados* en las *formaciones Paraná y Olivos*, con aguas salobres-salinas. El hidroapoyo del sistema es el *Complejo Martín García*, de carácter hidrológico primariamente *acuífugo* y que en la zona costera yace a una profundidad de 486 m en La Plata, 381 m en Hudson y 286 m en Buenos Aires (Jardín Zoológico), aflorando en la isla Martín García.

La zona costera uruguaya ofrece otra configuración. Luego de una ZNS de variable potencia, ofrece dos sistemas cenozoicos: el Sistema Acuífero Chuy y el Sistema Raigón (Montaño Xavier et al., 2006). El primero es freático esencialmente, compuesto por niveles permeables de la *Fm. Barra del Chuy* y las eventualmente superpuestas, con espesores de hasta 30 m y buena productividad. Localmente suelen tener comportamientos *semiconfinados* o *confinados*. El Raigón es la mayor reserva de agua subterránea del Sur de Uruguay, como *acuífero semiconfinado* cuyo piso serían las *formaciones Camacho y Fray Bentos* (acuícludos) y el techo semipermeable la *Fm. Libertad* (acuitado) de 12-17 m.

Entorno socioeconómico

Una de las particularidades que enfatizan el análisis de impactos en la interfase estuario-

sistema geohidrológico, es la magnitud del entorno socioeconómico. Se hallan a la vera del estuario las capitales de los dos países, a la vez las mayores concentraciones demográficas, industriales, económicas, financieras y usuarias del agua en ambos casos. Para Argentina, Buenos Aires, su conurbación y el Gran La Plata totalizan más de 13 millones de habitantes, el 34% del total nacional (INDEC, 2001) que reúnen casi el 20% del PBI del país (INDEC, 2005). La provisión por red se realiza a expensas del agua tratada del río de la Plata (>75%) y el resto por subterránea, pero las proporciones varían al considerar el abasto individual, fundamentalmente por estas últimas, que en el conurbano llega al 35% (González et al., 2008). La fuente superficial está representada por tres Plantas que tratan agua del río y la subterránea, principalmente por el acuífero Puelche, con participación del Pampeano en la población no servida por red. Existe también el mayor uso industrial del país, y en tercer término el riego hortícola-florícola periurbano, ambos con aguas del Puelche. También en Uruguay la mayor concentración urbana e industrial está en la zona costera (Montevideo, Canelones y Maldonado). La provisión se realiza en un 28% a expensas de la subterránea en los servicios centralizados (Montaño Xavier et al., 2006), cifra que al igual que en Argentina se incrementa considerando la provisión individual.

Hidrodinámica e hidroquímica subterráneas

En la margen argentina la recarga del subsistema activo ocurre con excedentes del balance hídrico, en forma autóctona directa en el acuífero freático-Pampeano, e indirecta en el Puelche (González, 2005). En el pasivo es alóctona. La circulación en ambos se produce con un sentido regional SW-NE, desde las divisorias de los tributarios del Plata con el río Samborombón hacia el estuario.

En la Fig. 5 se exponen mapas equipotenciales para sendos acuíferos, advirtiéndose similitud general, con morfología más radial en el caso del freático-Pampeano. En adyacencias del estuario, se produce inversión del flujo, por la gran explotación del Puelche en zonas próximas a la ribera (Bernal, Berazategui, Quilmes, La Plata), con consecuente intrusión salina. Los gradientes hídricos naturales, incrementados en la zona de extracción intensiva, son menores en el caso del acuífero superior (3.10^{-4} - $3.5 \cdot 10^{-5}$ vs $4 \cdot 10^{-3}$ - 1.10^{-4} del Puelche) con velocidades de $1.4 \cdot 10^{-2}$ m/d a $2 \cdot 10^{-1}$ m/d en ambos. El estuario y tributarios son ganadores respecto al régimen subterráneo,

excepto en lugares donde la sobreexplotación invierte tal carácter, constituyéndose en zonas de descarga. En áreas distales la transferencia vertical de agua subterránea se produce desde la unidad superior a la inferior, en cambio en las próximas

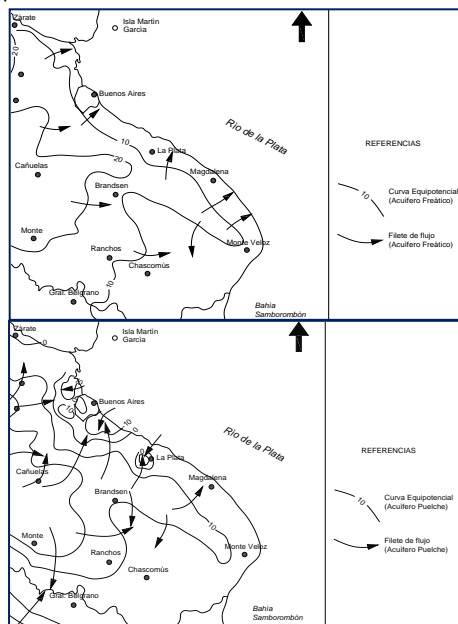


Fig. 5 Mapas equipotenciales

el flujo vertical es ascendente. Un panorama similar se da en Uruguay, ya que los acuíferos costeros de los sistemas El Chuy y Raigón (Montaño Xavier et al., 2006) muestran un mecanismo de recarga similar, autóctona directa en el primer caso e indirecta en el segundo, reconociendo su zona de descarga principal en el Río de la Plata. La circulación ocurre con mayores gradientes y consecuente mayor velocidad efectiva. No se dispone de información suficientemente densa como en Argentina, como para presentar una cartografía equipotencial, pero también se reconoce una relación homóloga a la otra orilla, seguramente con menor magnitud en función de las áreas generadoras y la longitud de la sección de salida en cada caso. No hay en cambio referencia a inversión de gradientes e intrusión.

La hidroquímica subterránea denota una de las mayores diferencias en el marco geohidrológico en ambos bordes continentales. En el sector argentino existe una circunstancia no replicada en el Uruguay, cual es la existencia de aguas salobres a salinas yaciendo

en el ámbito de la llanura costera, a diferencia de lo que ocurre en la llanura alta. Todos los acuíferos contienen aguas salobres/salinas, cloruradas a cloro-sulfatadas sódicas con TSD de 3000 y >10000 mg/l (González, 2005), mientras que en la llanura no suelen superarse los 500 - 2000 mg/l, con composición iónica bicarbonatada sódica a calco-sódica.

El origen de la salinidad es el recorrido y evolución del agua, desde bicarbonatada en la zona de recarga hasta clorurada en la de descarga, especialmente por gran disminución en la velocidad de flujo desde la llanura alta a la costera, con mayor tiempo de contacto agua-sedimento. La inversión del flujo en la zona de explotación intensiva del Puelche trajo como consecuencia la intrusión salina en varias localizaciones urbanas costeras (Bernal, Quilmes, Berazategui, La Plata). La descarga subterránea al estuario desde esta margen es de aguas salobres-salinas (del subsistema activo sobre el litoral y del pasivo aguas adentro), además de la carga contaminante que los acuíferos transportan. En cambio, desde territorio uruguayo se descargan aguas de baja salinidad tanto desde el sistema Barra del Chuy como del Raigón. Son bicarbonatadas sódicas a cloruradas sódicas, y bicarbonatadas sódicas respectivamente (Montaño Xavier et al., 2006), con solamente indicios de intrusión salina incipiente (Almagro et al., 1998), marcando la notable diferencia en tal sentido con respecto a lo que ocurre sobre la costa argentina.

A partir de que en sendas márgenes el río de la Plata se comporta como ganador respecto al régimen subterráneo, surge inicialmente que la mayor diversidad de impactos es precisamente desde el sistema geohidrológico al medio fluvial. Los principales efectos son entonces:

- Descarga de agua subterráneas salobres-salinas (margen derecha)
- Descarga de aguas subterráneas dulces (margen izquierda)
- Descarga de aguas subterráneas contaminadas (> margen derecha)
- Descarga de caudal básico contaminado (> margen derecha)
- Descarga (superficial) de aguas negras (> margen derecha)

Sin embargo y aún cuando no se produzcan en todo tiempo o regionalmente según el caso, existen impactos dados por la ocurrencia de sudestadadas con ingreso de agua del estuario a la llanura costera e intrusión salina a la llanura alta, con eventual reemplazo de volúmenes

Ambas situaciones están en el sector argentino. Como se intentará establecer en el siguiente apartado, la magnitud de los impactos

ambientales es más significativa desde el sistema estuárico hacia el geohidrológico, pese a la ya aludida mayor diversidad en sentido contrario y a la creencia general difundida.

Situación ambiental interfacial

Analizando desde una óptica ambiental los efectos de un sistema sobre el otro, particularmente en la zona de interfase y según los cinco primeros factores del apartado anterior, puede establecerse la siguiente ponderación.

La cuantía de la descarga de aguas salobres/salinas hacia el estuario se puede estimar en función de los mapas mostrados en la Figura 5, con los valores medios de gradiente hídrico, coeficiente de Trasmisividad y longitud de la sección de salida al estuario.

El resultado alcanza a aproximadamente 90500 m³/d, equivalentes a un módulo que estaría entre 1 m³/s y 10 m³/s, insignificante respecto a los 23000 m³/s del estuario. Un caudal similar aunque algo menor y de agua dulce sería el aporte subterráneo desde margen izquierda, sin poder estimárselo con el mismo detalle al carecerse de cartografía regional hidrodinámica, pero así parecerían indicarlo los antecedentes (Montaño Xavier et al., 2006).

En las dos orillas, pero mucho más en la argentina, hay descarga de aguas subterráneas contaminadas (Hernández, 2005) por efluentes líquidos industriales que acceden al subsuelo y contaminantes biogénicos, por falta de redes cloacales suficientes en el conurbano Sur. La menor actividad industrial y población en Uruguay y mayor cobertura de saneamiento hacen que este impacto sea allí irrelevante.

Dado que muchos tributarios del estuario reciben aportes de aguas subterráneas contaminadas por su comportamiento ganador, la descarga final en el estuario debe ser también mencionada aun cuando no sea directa, con las mismas reservas que en el párrafo anterior respecto a la orilla oriental.

Con idéntico criterio, el tributo fluvial al Río de la Plata en la mayoría de los cursos argentinos conlleva una fuerte carga contaminante, además del vertido en crudo de la red colectora cloacal. Hace dos decenios se calculaba en 50 m³/s el vertido desde Argentina, por la cloaca máxima de Berazategui. Si se considera que representa solo el 40% de las aguas negras del conurbano Sur, se entiende la mención respecto a la contaminación de las subterráneas en la margen argentina y su posterior descarga al río.

Todos estos sucesos que tienen como destinatario al estuario no adquieren por el momento gran incidencia ambiental, como

consecuencia del extraordinario caudal del río, suficiente para diluir cargas contaminantes por más importantes que parezcan.

Los efectos más notables ocurren en la margen argentina, según una orla sobre la ribera donde se concentran los solutos descargados, a favor de la dinámica del río, con prevalencia de la influencia del Paraná mientras que en la vecina orilla lo hace el Uruguay. En lo referente a los impactos en sentido inverso, hacia el margen continental, solamente en la derecha se produce el fenómeno de intrusión salina en el sistema geohidrológico, originado en la extracción excesiva de agua desde el acuífero Puelche (Auge et al., 2002). Todos los acuíferos del sistema, como ya se dijo, poseen salinidad elevada en la llanura costera, zona de descarga subterránea y permanente renovación de sales por evaporación y concentración.

Si bien el agua invasora no procede directamente del estuario, existe una participación por reposición de volumen manteniéndose un equilibrio másico, aún cuando no se produzca dilución apreciable, ya que no sucede a lo largo de la costa sino puntualmente frente a los sitios de penetración (La Plata, Berazategui, Quilmes).

La configuración geográfica del estuario, orientado en sentido NW-SE, hace que la ocurrencia de vientos del cuadrante SE o también del S o E, ocasione importantes ascensos en el nivel de agua, anegamientos en la llanura costera y una serie de perjuicios que involucran también al régimen subterráneo en la margen derecha. Este fenómeno conocido como Sudestada tiene carácter ciclogénico y es particularmente severo cuando coinciden los dos factores que afectan al nivel del río: la onda de tormenta (sudestada meteorológica) dependiente de la intensidad y persistencia del viento, y la marea astronómica.

Conclusiones

El estuario, por su comportamiento hidrológico ganador, guarda estrecha relación con el régimen geohidrológico marginal. Es esto muy importante en función de las magnitudes de la hidroforma y del entorno socioeconómico..

Con marcadas asimetrías en distintos aspectos del medio físico, hidrológico, socioeconómico y del conocimiento de la hidrología subterránea, se reconocen diferentes impactos del sistema geohidrológico sobre el estuario y viceversa.

Entre los primeros, se identificaron la descarga de agua subterráneas salobres-salinas, contaminadas, negras y las que forman parte del caudal básico de los tributarios,

prevalentes desde margen derecha, y de aguas dulces desde la izquierda. En todos los casos son poco incidentes ya que apenas superan 1 m³/s, tal que no afectan cuali-cuantitativamente el equilibrio ecohidrológico, en el último caso por dilución en un volumen extraordinario.

Dos impactos mayores ocurren desde el estuario hacia el continente. Uno indirecto es la intrusión salina, afectando sectores de margen derecha. El otro, consecuencias de las sudestadas que afectan fundamentalmente a la misma margen por razones geomorfológicas e hidrológicas, son los más relevantes de las interacciones.

El fenómeno de sudestadas reconoce una ocurrencia otoñal, primaveral y fini-estival, con frecuencia importante para los diferentes niveles de riesgo. Provoca sobre margen derecha serios trastornos de todo tipo con magnitud desde severa a catastrófica en ocasiones. Impactan sobre el sistema geohidrológico por el incremento de los niveles freático por reducción del espesor de la Zona No-Saturada, originando el fenómeno de recarga rechazada.

La influencia de los cambios del clima en la región costera del Río de la Plata en el área con riesgo permanente de inundación durante el siglo XXI sería muy pequeña. El impacto se sentiría principalmente en la mayor frecuencia de inundaciones, con efectos potenciados por los cambios demográficos y socioeconómicos.

Entendido que la relación más importante entre el sistema estuario y el geohidrológico está vinculada al impacto de las sudestadas sobre el régimen subterráneo, el nivel de criticidad aumentaría temporalmente en función de los cambios climáticos.

Referencias

- Acha, E. M. y Mianzan, H. 2003. El estuario del Plata: donde el río se encuentra con el mar. *Ciencia Hoy*, 13 (73): 10-20.
- Almagro, L., Custodio, E., Rocha, L. y Abelenda, D. 1998. Hidrogeología del acuífero superior de la formación Chuy. *Memorias IV Congreso Latinoam. de Hidrol. Subterránea ALHSUD*, Montevideo, 1:374-390.
- Auge, M. P., Hernández, M. A. y Hernández, L. 2002. Actualización del conocimiento del acuífero semiconfinado Puelche en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. En: E. Bocanegra, D. Martínez y H. Massone, (eds.), *Groundwater and Human Development*, Mar del Plata. Ed. CD Rom.
- Bazán, J. M. y Arraga, E. 1993. El Río de la Plata, ¿un sistema fluvio-marítimo frágil?. Acercamiento a una definición de la calidad de sus aguas. En: A. Boltovskoy y H. López, (eds.), *Conf. de Limnología*, ILPLA, La Plata, 71-82.
- Bazán, J. M. y Janiot, L. 1991. Zona de máxima turbidez y su relación con otros parámetros del Río de la Plata. *Docum. Tecnico Dto. Oceanografía. SHIN* N° 65/91. Buenos Aires.
- Bossi, J. y Navarro, R. 1991. Geología del Uruguay. *Dto. de Public. UDELAR*, Montevideo.
- Cavallotto, J. L. 1988. Descripción e interpretación morfológica del Río de La Plata. *Simp. Inter. sobre el Holoceno de América del Sur*. Resum. Expand. Paraná, 65-68.
- Cavallotto, J. L. y Violante, R. A. 2005. Geología y geomorfología del Río de La Plata. *Relatorio del XVI Congr. Geol. Arg.*, La Plata, 237-253.
- González, N., 2005. Los ambientes hidrogeológicos de la provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata, 359-374.
- González, N., Alvarez, M. P. Trovatto, M. M. y Solero, C. 2008. Los recursos hídricos subterráneos en el desarrollo socioeconómico de la Provincia de Buenos Aires. Argentina. *IX Congreso Latinoam. de Hidrol. Subterr.* Quito.
- Goso, H. 1965. El Cenozoico en el Uruguay. *Instituto Geol. de Uruguay*, Ed. Mim., Montevideo.
- Hernández, M. A., 2005 Panorama ambiental de los recursos hídricos subterráneos en la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congr. Geol. Argentino*, La Plata, 347-358.
- INDEC, 2001. Censo Nacional 2001. INDEC. Buenos Aires. <http://www.indec.mecon.ar/>
- INDEC, 2005. Censo Económico Nacional 2004/2005. Resultados provisionales. INDEC. Buenos Aires. <http://www.indec.mecon.ar/>
- Menendez, A. y Re, M. 2005. Hidrología del Río de la Plata. En: V. Barros, A. Menéndez y G. Nagy (eds.), *El cambio climático en el Río de la Plata. CIMA-CONICET*, Buenos Aires, 11:7:69-84.
- Montaño Xavier, J., Gagliardi, S. y Montaño, M. 2006. Recursos hídricos subterráneos del Uruguay. *Boletín Geológico y Minero-Journal of Earth Sciences*, 117-1: 201-222.
- Perillo, G. M. E. 1995. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries. Development in Sedimentology* 53. Elsevier.
- Schnack, E. J., Isla, F. I., De Francesco, F. O. y Fucks, E. E. 2005. Estratigrafía del cuaternario marino tardío en la Provincia de Buenos Aires. *Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino*, La Plata. 159-181.
- Violante R. A. y Parker, G. 1999. Historia evolutiva del Río de la Plata durante el Cenozoico Superior. *XIV Congreso Geológico Argentino*, La Plata, 1:504-507.